

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИФУЗІЙНИХ ФАКТОРІВ НА КАТАЛІТИЧНУ ЗДАТНІСТЬ ЗРАЗКІВ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ ТИПУ СКН

*Досліджено вплив швидкості дифузійних та хімічних процесів на каталітичну активність біокаталізаторів на основі зразків гранульованого вугілля типу СКН в реакції розкладання  $H_2O_2$ . Проведено кореляційний аналіз між реакційною здатністю, дифузією та структурними характеристиками носіїв. Для кількісного аналізу ефективності зразків застосовано закони кінетики ферментативних реакцій, теорії Тіле-Зельдовича та осциляційну. Показано, що для вихідного вугілля при зменшенні діаметра гранул в 10 разів, коефіцієнт дифузії зменшується більш ніж в три рази, тоді як ферментативна активність збільшується майже на два порядки і корелює із питомою площею поверхні зразків (коефіцієнт кореляції  $R^2 = 0,9985$ ). Для носіїв з іммобілізованим ферментом ефективність визначається хімічною складовою, в даному випадку – кількістю іммобілізованого фермента, яка є однаковою для всіх фракцій. Таким чином, дифузійні фактори не лімітують каталітичний процес в дослідженій системі, що необхідно враховувати при створенні сорбційних препаратів, а також масообмінників, для медицини та/або біотехнології.*

### Вступ

Одним з перспективних шляхів розвитку сучасної медицини є створення ефективних біокаталізаторів, які можуть впливати на біохімічні процеси, що проходять в організмі людини, – прискорювати їх або ж загальмовувати. Серед таких біокаталізаторів широко використовують вуглецеві сорбенти, які можуть проявляти як власну каталітичну активність, так і бути носієм для іммобілізації ферментів [1]. Ефективність вуглецевих біокаталізаторів залежить від таких параметрів, як природа сорбенту, його структурно-сорбційні властивості та хімія поверхні [2]. Знання закономірностей впливу цих параметрів відкриває можливість створення сорбентів спрямованої терапевтичної дії, а також біокаталізаторів на основі ензимів, іммобілізованих на поверхні твердих тіл, для біотехнологічних процесів та біосенсорики.

Проте дослідження каталітичних процесів на поруватих тілах ускладнено тим, що в них поряд з хімічною взаємодією важливу роль відіграє дифузія компонентів та продуктів реакції. Окрема оцінка цих явищ майже неможлива. Оскільки швидкість хімічних та дифузійних процесів суттєво відрізняється, то їх вплив на результуючий процес визначає як підходи до створення біокаталізаторів, так і умови їх використання [3].

Метою цього дослідження є проведення кореляційного аналізу між реакційною здатністю, дифузією та структурними характеристиками гранульованих зразків активованого вугілля медичного призначення типу СКН в реакції розкладання ними перексиду водню. Ефективність

результуючого каталітичного процесу аналізували із застосуванням законів кінетики ферментативних реакцій за допомогою розрахованих для таких об'єктів констант Міхаеліса-Ментен. Оцінку дифузійних факторів на загальну активність зразків проводили за допомогою двох загальноприйнятих теорій – Тіле-Зельдовича та осциляційної (коливальної). Зіставлення швидкості дифузійних процесів із каталітичною здатністю матеріалів дасть можливість оцінити хімічну та дифузійну складові у сумарному процесі, що необхідно враховувати при створенні сорбційних препаратів, а також масообмінників, для медицини та/або біотехнології.

### Матеріали і методи дослідження

Реакцію розкладання перексиду водню було вибрано як модель процесів розкладання перекисних сполук, які можуть відбуватися в організмі людини під час детоксикації при проведенні гемо або ентеросорбції. Крім того, ця реакція проходить з виділенням газу і тому є досить зручною для моделювання дифузійних процесів, що відбуваються на поверхні та в порах каталізаторів.

Процес розкладання перексиду водню (2,5 %  $H_2O_2$  при pH = 7,2) досліджували при 298°K в термостатованій комірці з перемішуванням, що нівелює зовнішнє дифузійне гальмування. Об'єм розчину перексиду водню в кожному досліді становив 50 мл, маса наважки вуглецевого сорбенту – 0,1 г. Аналіз зміни концентрації перексиду водню в часі проводили при періодичному відбиранні проб, дослід проводили протягом

30 хв. Концентрацію розчинів  $\text{H}_2\text{O}_2$  визначали методом перманганатометрії [4], використовуючи розчини 0,4 н  $\text{KMnO}_4$  та  $\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц.}}$  (розведена дистильованою водою у співвідношенні 1:4).

Каталітичне розкладання пероксиду водню проводили з використанням вихідного синтетичного азотовмісного вугілля медичного призначення – СКН, а також зразків вугілля цього типу з адсорбційно іммобілізованим на його поверхні ферментом каталаза (у кількості 5-6 мг на г сорбенту). Іммобілізацію ферменту проводили шляхом фізичної сорбції каталази (активність 329300 о.а.) при контакті розчину ферменту ( $\text{pH} = 7,2$ ) з вугіллям протягом 24 годин ( $t = 4 - 6^\circ\text{C}$ ). Кількість іммобілізованого ферменту визначали спектрофотометрично ( $\lambda = 280 \text{ нм}$ ) за різницею вмісту його в розчині над наважкою сорбенту до та після іммобілізації з використанням калібровки за БСА.

Було проаналізовано активність чотирьох фракцій гранул обраного каталізатора, що мають середнє значення діаметра – 1,50, 0,75, 0,375 та 0,125 мм. Основні структурні характеристики фракцій вугілля наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Структурні характеристики фракцій вихідного вугілля

$d_{\text{гранул}}, \text{мм}$	$S_{\text{пит}}, \text{м}^2/\text{г}$	$V_s, \text{см}^3/\text{г}$	$d_{\text{пор}} \times 10^9, \text{м}$
1,50	1580	1,18	2,99
0,75	1100	0,73	2,66
0,375	980	0,46	1,89
0,125	920	0,44	1,92

Вплив дифузійних факторів на сумарний процес розкладання  $\text{H}_2\text{O}_2$  аналізували за допомогою розрахованих коефіцієнтів дифузії. Коефіцієнт дифузії для каталітичної реакції  $\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{cat}} \text{H}_2\text{O} + 0,5\text{O}_2$  розраховували із використанням даних, наведених в табл. 2.

Таблиця 2. Основні параметри реакції розкладання  $\text{H}_2\text{O}_2$  вугіллям СКН

Активоване вугілля марки СКН [5]	
Активний компонент	C (92–95 %)
Форма	сферичні гранули
Густина частинок каталізатору ( $\rho_{\text{част.}}$ ), $\text{г}/\text{м}^3$	$2,246 \times 10^6$
Коефіцієнт звивистості ( $\tau_p$ ) для мікропористих тіл	3
Кінетичні дані	
Швидкість реакції ( $r_v$ ) $\text{моль}/\text{с}\cdot\text{м}^3$	$r_v = k_v C_{\text{H}_2\text{O}_2}$
Концентрація пероксиду водню	$C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 2,5 \%$
Фізичні константи [6]	
Коефіцієнт Генрі $\text{O}_2/\text{вода}$ ( $H$ )	$2,92 \times 10^{-2}$
Коефіцієнт дифузії $\text{O}_2$ у воді ( $D_{\text{O}_2, \text{p}}$ ), $\text{м}^2/\text{с}$	$2,41 \times 10^{-9}$
Поверхневий натяг ( $\sigma$ ), $\text{Н}/\text{м}$	$72,8 \times 10^{-3}$
В'язкість рідини ( $\mu$ ) $\text{Па}\cdot\text{с}$	$0,96 \times 10^{-3}$

### Оцінка швидкості дифузійних процесів

Активоване вугілля – високопористий матеріал, тому внутрішня поверхня зерен становить понад 99 % від загальної поверхні каталізатора. Для того щоб досягти поверхні в середині зерна молекули субстрату повинні продифундувати крізь пори каталізатора, в яких відбувається реакція, після чого продукти реакції повинні залишити активний центр і вийти в гомогенну фазу [7]. Якщо продуктами реакції є газоподібні речовини, то вони можуть виходити з пори двома шляхами: перший – утворений газ розчиняється у рідкій фазі і виходить з пори за механізмом молекулярної дифузії; другий – виникнення бульбашки у випадку, коли концентрація розчиненого у рідині газу перевищує рівноважну (рис. 1).

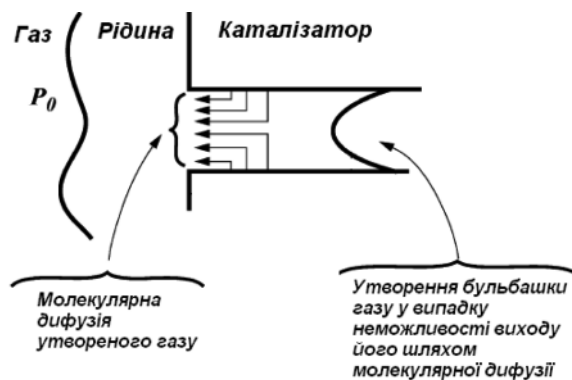


Рис. 1. Схематичне зображення процесів у порі каталізатора

Критерієм вибору механізму, за яким відбувається дифузія, є число Дамклера ( $Da$ ) (1).

$$Da_{\text{пора, газ}} = y_{\text{гранул}}^2 r_s \frac{vRT}{D_{\text{O}_2, \text{p}} \sigma H}, \quad (1)$$

де  $y_{\text{гранул}} = \frac{1}{2} d_{\text{гранул}} \tau_p$  – довжина пори каталізатора;

$r_s = \frac{r_v}{\rho_{\text{гранул}} S_{\text{пит.}}}$  – швидкість реакції, віднесена до площі поверхні каталізатора;  $v$  – коефіцієнт у реакції розкладання пероксиду водню,  $v = 0,5$ ;

$R$  – універсальна газова стала,  $R = 8,314 \text{ Дж}/\text{моль}\cdot\text{К}$ ;  $T$  – температура в реакторі,  $T = 298^\circ\text{K}$  [3].

Якщо  $Da > 1$ , швидкість молекулярної дифузії утвореного газу менша за швидкість реакції. Це призводить до виникнення бульбашки, що виштовхує рідину з пори, в результаті чого в порі виникає осциляційний (коливальний) рух рідини. Якщо ж  $Da < 1$ , утворений газ не накопичується, а дуже швидко виходить з реакційної зони і тому реакцію можна описати за механізмом молекулярної дифузії Тіле-Зельдовича. Залежно від отриманого значення числа Дамклера ефективний коефіцієнт дифузії (основний критерій впливу

дифузійних факторів на сумарний перебіг реакції) можна розрахувати за осциляційною теорією, або ж за теорією Тіле-Зельдовича.

*Розрахунок ефективного коефіцієнту дифузії за теорією Тіле-Зельдовича*

Існує теорія, що була розроблена Тіле та Зельдовичем [8, 9], яка пов'язує параметри взаємодії між реагуючими речовинами та пористою структурою каталізатора. Відповідно до цієї теорії масоперенос реагуючих речовин носить суто молекулярний характер. Це означає, що реакційні частинки дифундують крізь нерухому рідину до активних центрів дуже повільно. Основний наслідок теорії – кореляція між реакційною здатністю, дифузією та розміром пор – чим глибше пори каталізатора, тим менша концентрація реагуючих речовин в них, тим менша швидкість реакції. Ця модель показує, що тільки певна частина пор, що розташовані біля поверхні каталізатора, бере участь у реакції і через низьку швидкість дифузії майже вся поверхня каталізатора є неактивною.

Відповідно до Зельдовича, структура пор каталізатора в першому наближенні не розглядається. Зерно каталізатора описується як середовище, в якому перенесення речовини відбувається з ефективним коефіцієнтом дифузії  $D^*$ , а каталітична реакція проходить з ефективною константою швидкості  $k^*$ , що віднесена до одиниці об'єму зерна, причому ці константи постійні по всьому об'єму зерна. Таким чином реакція за цією моделлю проходить ніби гомогенно в масі каталізатора, а реагент надходить з іншої фази.

Швидкість реакції, віднесена до одиниці зовнішньої поверхні зерна, ( $r_s$ ), в цьому випадку дорівнює дифузійному потоку, що проходить крізь зовнішню поверхню зерна:

$$r_s = -D^* \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} = \sqrt{\frac{1}{n+1}} D^* k C_s^{n+1} = k_{\text{ef}} C_s^{(n+1)/2}, \quad (2)$$

де  $n$  – порядок реакції;  $D^*$  – ефективний коефіцієнт дифузії;  $k$  – константа швидкості реакції;  $C_s$  – приповерхнева концентрація субстрату,  $C_s = C_0$ .

З рівняння (2) одержуємо формулу для розрахунку ефективного коефіцієнта дифузії в разі молекулярного механізму виходу продуктів реакції:

$$D_{\text{ef, мол}} = \frac{2r_s^2}{kC_s^2}. \quad (3)$$

*Розрахунок ефективного коефіцієнта дифузії за осциляційною теорією*

Коливальний рух рідини в порах під час перебігу мультифазної реакції може відбуватися лише за умови неможливості молекулярного ме-

ханізму для виведення продуктів реакції. Відомо, що максимально можливий тиск в порі еквівалентний сумі тиску в реакторі та капілярного тиску (рис. 2).

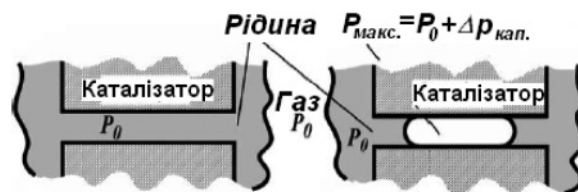


Рис. 2. Тиск в порах: (а) – пори каталізатора заповнені рідиною; (б) – бульбашка в порі каталізатора

Під час перебігу реакції, продуктом якої є газ, парціальний тиск газу зростає. Якщо тиск газу досягає максимально можливого тиску в порі каталізатора – виникає бульбашка, що починає виштовхувати рідину з пори. В частині пори, що зайнята бульбашкою, реакція припиняється, і тиск в порі повертається до початкового значення (тиск в реакторі). Після виходу бульбашки нова порція реагуючих речовин потрапляє в пори (завдяки капілярному ефекту) і процес формування бульбашки починається знову. Рідина в порах каталізатора може періодично рухатися зі швидкістю понад 100 м/с при частоті 1 Гц. Це явище було названо осциляційною (коливальною) поведінкою і запропоноване як альтернативний молекулярній дифузії рух рідини в порах каталізатора [10].

Згідно з осциляційною теорією ефективний коефіцієнт дифузії можна визначити за формулою [11]:

$$D_{\text{ef, осцил}} = \frac{y_{\text{кр}}^2}{\Delta\tau_{\Sigma}}, \quad (4)$$

де  $y_{\text{кр}}$  – є відстанню осциляційного проникнення, тобто це та відстань, на якій починає утворюватися бульбашка в середині пори,

$$y_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{D_{O_2, p} \sigma H \rho_{\text{гранул}} S_{\text{пит}}}{r_v \nu RT}}; \quad \Delta\tau_{\Sigma} - \text{сумарний час}$$

одного колювання рідини, тобто час, необхідний для заповнення та витіснення рідини з пори –  $\Delta\tau_{\Sigma} = \Delta\tau_{\text{витісн}} + \Delta\tau_{\text{заповн}}$ .

Якщо прийняти швидкість, з якою бульбашка виштовхує рідину з пори, за  $U_{\text{витісн}} = \frac{d_{\text{пори}} r_v \nu RT}{\sigma r_{\text{гранул}} S_{\text{пит}}}$ , та відстань, яку вона проходить, за  $y_{\text{витісн}} = \frac{d_{\text{пори}}^2 C_{H_2O_2} \nu RT}{\sigma}$ , то час витіснення дорівнюватиме:

$$\Delta\tau_{\text{витісн}} = \frac{y_{\text{витісн}}}{U_{\text{витісн}}}. \quad (5)$$

За умови що  $y_{\text{витісн}} < y_{\text{кр}}$ , рідина лише частково заповнює пору. Тоді

$$\Delta\tau_{\text{заповн.}} = \frac{y_{\text{кр.}}^2 - (y_{\text{кр.}} - y_{\text{витісн.}})^2}{2HD_{O_2, P}}, \quad (6)$$

$$\text{а швидкість заповнення } U_{\text{заповн.}} = \frac{y_{\text{витісн.}}}{\Delta\tau_{\text{заповн.}}}$$

#### Оцінка швидкості хімічних процесів

Швидкість перебігу каталітичної реакції на поруватому тілі можна пов'язати із хімічною складовою (хімічною взаємодією субстрату із активним центром на поверхні) та дифузійною складовою рівнянням (7)

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_{\text{хим.}}} + \frac{1}{K_{\text{диф.}}} \quad (7)$$

Тоді швидкість перебігу хімічних процесів можна визначити з сумарної швидкості процесу та швидкості дифузії. Швидкість дифузійних процесів визначали за допомогою ефективних коефіцієнтів дифузії, тоді як сумарна швидкість процесу оцінюється за даними прямих вимірювань швидкості реакції, за розрахованою величиною константи Міхаеліса-Ментен [12]. Константа Міхаеліса-Ментен є важливою характеристикою оцінки активності ферменту. Концентрація субстрату, при якій швидкість реакції дорівнює половині максимальній, еквівалентна величині  $K_m$ .

Для визначення константи Міхаеліса-Ментен знаходять початкову швидкість реакції за різних концентрацій субстрату. Всі інші умови досліджу (рН, температура, йонний склад тощо) залишаються постійними. Отримані результати використовують для побудови графіка залежності початкової швидкості реакції від концентрації субстрату в координатах Міхаеліса ( $V_0$  від  $[C]$ ), або в зворотних координатах за методом Лайнуївера та Берка ( $1/V_0$  від  $1/[C]$ ). З графіку залежності  $1/V_0$  від  $1/[C]$  шляхом екстраполяції прямої (8) до перетину з віссю абсцис розраховують величини  $K_m$  і  $V_{\text{макс}}$  [13]

$$\frac{1}{V_0} = \frac{K_m}{V_{\text{макс}}} \frac{1}{[C]} + \frac{1}{V_{\text{макс}}} \quad (8)$$

#### Результати та їх обговорення

Для визначення механізму виходу продуктів реакції нами було проведено розрахунок числа Дамклера для всіх фракцій об'єктів дослідження (табл. 3).

Показано, що процес розкладання  $H_2O_2$  вугіллям СКН описується осциляційною теорією, оскільки всі значення числа Дамклера, крім найдрібнішої фракції, більше одиниці. Фракція вугілля із середнім діаметром 0,125 мм має значення числа Дамклера близьке до одиниці (для вихідного вугілля) і менше одиниці для вугілля

із іммобілізованим ферментом, що може свідчити про вірогідність існування поряд з осциляційним механізмом молекулярної дифузії утворених в порах молекул газу.

Таблиця 3. Значення числа Дамклера для досліджуваних фракцій

$d_{\text{гранул}}, \text{ мм}$	1,5	0,75	0,375	0,125
Вихідне вугілля				
$Da$	94,4	34,8	9,79	1,08
Вугілля із іммобілізованою каталазою				
$Da$	19,6	8,1	4,9	0,52

На базі осциляційної теорії було розраховано основні параметри процесу розкладання пероксиду водню фракціями вугілля типу СКН та ефективний коефіцієнт дифузії. Для найменшої фракції з іммобілізованою каталазою коефіцієнт дифузії розраховували на основі теорії Тіле-Зельдовича. З метою оцінки сумарної швидкості процесу для досліджених зразків було розраховано константу Міхаеліса-Ментен (табл. 4).

Таблиця 4. Значення ефективного коефіцієнта дифузії та  $K_m$  для досліджуваних об'єктів

$d_{\text{гранул}}, \text{ мм}$		1,50	0,75	0,375	0,125
Вихідне вугілля	$D_{\text{эф.}} \times 10^9, (\text{м}^2/\text{с})$	1,3	1,9	2,9	3,1
	$K_m, \text{ ммоль/л}$	1740	440	195	30
Вугілля із іммобілізованою каталазою	$D_{\text{эф.}} \times 10^9, (\text{м}^2/\text{с})$	23,0	25,2	39,8	$2,6 \times 10^{-6}$
	$K_m, \text{ ммоль/л}$	50	85	110	40

Отримані дані (табл. 4) свідчать про те, що для вихідного вугілля при зменшенні діаметра гранул в 10 разів, коефіцієнт дифузії зменшується більш ніж в три рази, тоді як ферментативна (сумарна) активність збільшується майже на два порядки. Таким чином, дифузія в цьому випадку не є визначальним фактором активності вугілля як каталізатора. Як і очікувалось, ензимоподібна каталітична активність ( $K_m$ ) гранул вугілля СКН різного розміру пропорційна питомій площі поверхні цих фракцій (коефіцієнт кореляції  $R^2 = 0,9985$ ); ефективний коефіцієнт дифузії за осциляційною теорією корелює з діаметром пор ( $R^2 = 0,9836$ ).

Ефективність носіїв з іммобілізованим ферментом визначається хімічною складовою, в даному випадку – кількістю іммобілізованого фермента, яка є однаковою для всіх фракцій. Розраховане для найдрібнішої фракції число Дамклера та коефіцієнт дифузії свідчать про відсутність внутрішньої дифузії субстрата до активних центрів. У цілому, в усіх фракціях вугілля із іммобілізованою каталазою не спостерігається суттєвої зміни ні  $D_{\text{эф.}}$ , ні  $K_m$ . Це може вказувати на те, що як хімічна реакція, так і дифузійні процеси

проходять на доступній поверхні, що покрита ферментом.

### Висновки

У статті кількісно охарактеризовано та зіставлено вплив дифузійної та хімічної складової на ефективність біокатализаторів на основі вугілля типу СКН. Для проведення кореляційного аналізу між реакційною здатністю, дифузією та структурними характеристиками носіїв використовували дві загальноприйняті теорії – Тіле-Зельдо-

вича та осциляційну, на основі яких розраховано ефективні коефіцієнти дифузії. Були також використані закони ферментативної кінетики для опису каталітичної активності сорбентів, і для розрахунку константи Міхаеліса-Ментен. Показано, що дифузія не є визначальним фактором каталітичної активності вуглецевих сорбентів типу СКН, що необхідно враховувати при створенні сорбційних препаратів, а також масообмінників, в яких використовуються вуглецеві матеріали для медицини та/або біотехнології.

1. Стрелко В. В. Селективная сорбция и катализ на активных углях и неорганических носителях / В. В. Стрелко, В. А. Зажигалов, С. С. Ставицкая и др. – К. : Наук. Думка, 2008. – 303 с.
2. Ставицкая С. С. Основные факторы, определяющие каталитические свойства активных углей / С. С. Ставицкая, И. А. Тарковская, Т. П. Петренко // Теорет. и эксперим. химия. – 1996. – Т. 32, № 6. – С.336–344.
3. Саттерфилд Ч. Н. Массопередача в гетерогенном катализе / Ч. Н. Саттерфилд. – М. : Химия, 1976. – 315 с.
4. Бабко А. К. Количественный анализ / А. К. Бабко, И. В. Пятницкий. – М. : Высш. школа, 1968. – 496 с.
5. Справочник химика. Основные свойства неорганических и органических соединений. – М.: Химия, 1964. – Т. 2 – 1165 с.
6. <http://www.h2o2.com/intro/properties.html>
7. Крылов О. В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие для вузов / О. В. Крылов. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 679 с.
8. Thiele E. W. Relation between catalytic activity and size particle / E. W. Thiele // Ind. Eng. Chem. – 1993. – Vol. 31. – P. 916–922.
9. Zeldovich Y. B. To theory of the reaction on a porous or powder catalyst / Y. B. Zeldovich // J. Acta Physicochim. U.R.S.S. – 1993. – Vol. 4. – P. 584–592.
10. Datsevich L. B. Some theoretical aspects of catalyst behavior in a catalyst particle at liquid (liquid-gas) reaction with gas production: oscillation motion in the catalyst pores / L. B. Datsevich // Applied catalysis. – 2003. – Vol. 247. – P. 101–111.
11. Datsevich L. B. Alternating motion of liquid in catalyst pores in a liquid/liquid-gas reaction with heat or gas production / L. B. Datsevich // Catal. Today. – 2003. – Vol. 79–80. – P. 341–348.
12. Глевацька К. В. Кількісна оцінка каталітичної активності вуглецевих сорбентів медичного призначення / К. В. Глевацька, О. М. Бакалінська, М. Т. Картель // Доповіді НАН України. – 2008. – Т. 8. – С. 126–131.
13. Практикум по біохімії / Под ред. Н. П. Мешковой и С. Е. Северина. – М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 1979. – 430 с.

K. V. Glevatska, O. M. Bakalinska, M. T. Kartel

### ESTIMATION OF DIFFUSIONS PARAMETERS INFLUENCE ON ACTIVITY OF SCN TYPE ACTIVATED CARBON

*Influence of diffusions and chemicals processes rate on catalytic activity of SCN type granulated activated carbon biocatalysts in reactions of hydrogen peroxide decomposition was investigated. Correlation analysis among reactivity, diffusion and structural characteristics of investigated materials is determined. Enzyme kinetics laws, Thiele/Zeldovich and oscillation theories are applied to the quantitative analysis of effectiveness investigated samples. It is shown that for initial carbon materials with reduction of the granules size in 10 times, the diffusivity decreases more than in 3 times whereas enzymatic activity increases almost for 2 orders and correlates with specific surface area (correlation factor  $R^2 = 0,9985$ ). For carriers with immobilized ferment efficiency is determined by amount of immobilized ferment (identical to all fractions). So, diffusion parameters do not limit catalytic process. This fact can find use for formation of sorption devices and mass-transport apparatuses for medical purpose and/or biotechnology.*